CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO CIENTÍFICO

Área de hidrología e hidráulica

CENIDEC

Cálculos hidráulicos del canal de irrigación de Santa Rosa de Cumbaza

Presentado por

Epistemo Groß Wissenschaftler

Docente:

Mtro: Carmelino Almestar Villegas

2026

Índice

1. Introducción 3

2. Marco teórico 6

3. Metodología 13

4. Resultados 14

5. Discusión 21

6. Conclusiones 25

7. Recomendaciones 26

8. Referencias 27

9. Anexos 28

1. Introducción

Los sistemas de riego constituyen una de las principales infraestructuras hidráulicas destinadas a garantizar el suministro oportuno de agua para la producción agrícola, especialmente en cultivos con alta demanda hídrica como el arroz. En la región San Martín, el Sistema de Irrigación Cumbaza representa una de las obras de mayor importancia para el desarrollo agrícola del Bajo Mayo. La captación principal se encuentra en el sector Polvoraico (centro poblado Nueva Esperanza), distrito de Morales, sobre el río Cumbaza, desde donde el agua es derivada hacia el Canal Principal Cumbaza, cuya longitud aproximada es de 40,58 km. Este sistema abastece aproximadamente 4500 ha de cultivos, principalmente arroz, mediante una red conformada por 34 canales laterales, entre los cuales se encuentran los canales Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza. Debido a su importancia económica y social, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) ha considerado la rehabilitación de esta infraestructura para mejorar su eficiencia hidráulica, reducir pérdidas por infiltración y garantizar una distribución más uniforme del recurso hídrico (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2010).

Desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica, el adecuado funcionamiento de un canal de irrigación depende de que sus características geométricas e hidráulicas permitan conducir el caudal requerido sin producir sedimentación, erosión ni pérdidas excesivas de energía. Para ello es necesario conocer parámetros como la solera, el tirante hidráulico, el talud, el borde libre, la pendiente longitudinal y la rugosidad del revestimiento, los cuales determinan el área hidráulica, el perímetro

mojado, el radio hidráulico y la velocidad del flujo. Chow (1959) señala que el diseño y evaluación de canales abiertos deben garantizar un equilibrio entre la capacidad de transporte y la estabilidad del flujo, mientras que la ecuación de Manning continúa siendo el método más utilizado para estimar la velocidad media del agua en canales revestidos debido a su simplicidad y adecuada precisión. Asimismo, el análisis mediante la ecuación de Chezy y el número de Froude permite identificar el régimen hidráulico del flujo y verificar si el canal opera dentro de condiciones apropiadas para el transporte eficiente del agua.

Los manuales de diseño hidráulico para canales de irrigación establecen que las secciones trapezoidales son las más empleadas debido a su estabilidad estructural, facilidad constructiva y menor costo de mantenimiento. El United States Bureau of Reclamation (USBR, 1978) recomienda que el diseño considere la geometría de la sección, el borde libre, la rugosidad del revestimiento y la pendiente hidráulica, verificando además que la velocidad del flujo permanezca dentro de límites que eviten la sedimentación y la erosión del revestimiento. De manera similar, la FAO (1992) indica que, para canales revestidos de concreto, las velocidades recomendadas generalmente se encuentran entre 0,60 y 3,00 m/s, mientras que el número de Froude debe mantenerse preferentemente en condiciones de flujo subcrítico ($Fr < 1$), favoreciendo una operación estable y segura. En consecuencia, la evaluación hidráulica mediante mediciones de campo constituye una herramienta indispensable para verificar el comportamiento real del canal y comparar el funcionamiento observado con las condiciones previstas en el diseño.

En este contexto, el presente informe desarrolla la evaluación hidráulica del canal de irrigación Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza, perteneciente al Sistema de Irrigación Cumbaza. Para ello se realizaron mediciones de las dimensiones geométricas de la sección trapezoidal, la pendiente longitudinal y el tiempo de recorrido de un flotador sobre un tramo representativo del canal. Con esta información se determinaron el área hidráulica, el perímetro mojado, el radio hidráulico, la velocidad media, el caudal, la pérdida de carga, el coeficiente de Chezy y el número de Froude. Finalmente, se comparó la velocidad obtenida mediante el método del flotador con la calculada mediante la ecuación de Manning, verificando además si la capacidad hidráulica del canal resulta consistente con los criterios de diseño para canales revestidos y con las necesidades del sistema de riego que abastece aproximadamente 4500 ha de cultivos de arroz.

Objetivo general

Realizar la evaluación hidráulica del canal trapezoidal de irrigación Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza mediante mediciones de campo y la aplicación de las ecuaciones de Manning, Chezy y Froude, comparando la velocidad obtenida experimentalmente mediante el método del flotador con la velocidad calculada teóricamente, a fin de analizar el comportamiento hidráulico del canal y su capacidad para el transporte del agua de riego.

Objetivos específicos

- Medir las dimensiones geométricas de la sección transversal del canal.
- Determinar la pendiente longitudinal del canal.
- Calcular el área hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico.

- Determinar la velocidad y el caudal mediante el método del flotador.
- Calcular la velocidad y el caudal mediante la ecuación de Manning.
- Calcular el coeficiente de Chezy y el número de Froude.
- Comparar los resultados experimentales y teóricos con los criterios de diseño de canales de irrigación.

2. Marco teórico

2.1 Canales de irrigación

Los canales de irrigación son obras hidráulicas construidas para conducir agua desde una fuente de abastecimiento hasta las áreas agrícolas donde será distribuida mediante una red de canales principales, secundarios y terciarios. Su finalidad es transportar el caudal requerido con la menor pérdida posible de energía y agua, garantizando un suministro continuo para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos. El adecuado funcionamiento de un canal depende tanto de sus características geométricas como de las condiciones hidráulicas del flujo, razón por la cual durante su diseño deben considerarse la pendiente, el material del revestimiento, la rugosidad, el caudal de diseño y las velocidades admisibles (Chow, 1959).

En la región San Martín, el Sistema de Irrigación Cumbaza constituye una de las principales infraestructuras hidráulicas destinadas al riego de aproximadamente 4500 ha de cultivos agrícolas, principalmente arroz. El sistema inicia en una bocatoma ubicada sobre el río Cumbaza, en el sector Polvoraico (Nueva Esperanza), distrito de Morales, desde donde el agua es conducida mediante el

Canal Principal Cumbaza hacia una red de canales laterales, entre ellos Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2010).

2.2 Canal trapezoidal

La sección trapezoidal es la geometría más utilizada en canales de irrigación debido a que proporciona una adecuada estabilidad de los taludes, permite construir canales de mayor capacidad hidráulica y reduce los costos de excavación respecto a otras secciones. Cuando el canal se encuentra revestido con concreto, la rugosidad disminuye considerablemente, incrementándose la eficiencia hidráulica y reduciéndose las pérdidas por infiltración (USBR, 1978).

Las principales dimensiones de una sección trapezoidal son:

Solera (b)

Tirante (y)

Talud (z)

Borde libre (BL)

Corona (C)

Base mayor (B)

Ancho superior (T)

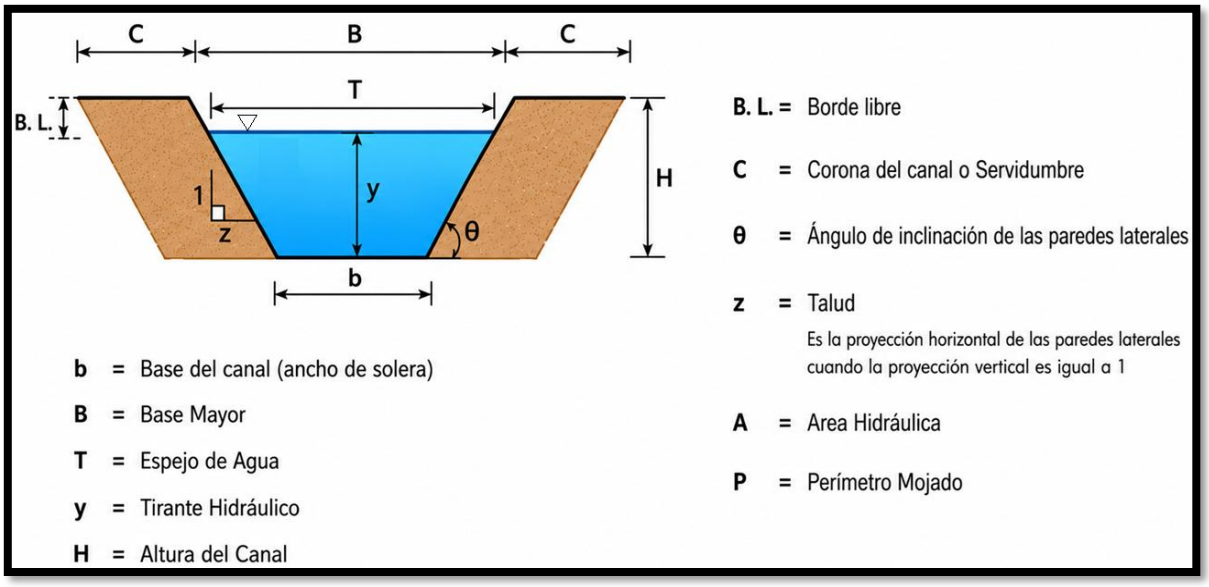

Figura 1. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal trapezoidal

Estas dimensiones permiten calcular el área hidráulica y los demás parámetros empleados en el análisis hidráulico.

2.3 Criterios de diseño hidráulico de canales trapezoidales

El diseño hidráulico de un canal de irrigación debe garantizar la conducción del caudal previsto evitando problemas de sedimentación, erosión y desbordamiento. Según el United States Bureau of Reclamation (USBR, 1978), los principales criterios de diseño incluyen:

- capacidad suficiente para transportar el caudal de diseño;
- velocidad compatible con el material del revestimiento;
- borde libre adecuado para evitar reboses;
- pendiente uniforme;
- régimen de flujo estable;
- estabilidad estructural de los taludes.

Por su parte, la FAO (1992) recomienda que los canales revestidos de concreto trabajen generalmente con velocidades comprendidas entre 0,60 y 3,00 m/s, intervalo que minimiza tanto la sedimentación como el desgaste del revestimiento.

2.4 Área hidráulica

El área hidráulica corresponde al área ocupada por el agua dentro del canal y constituye uno de los parámetros fundamentales para calcular el caudal.

En un canal trapezoidal se determina mediante:

$$A = y(b + zy)$$

Donde:

A = área hidráulica (m^2)

b = ancho de solera (m)

y = tirante (m)

z = talud horizontal.

2.5 Perímetro mojado

Es la longitud del canal que permanece en contacto directo con el agua.

Se calcula mediante:

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

El perímetro mojado representa la superficie sobre la cual actúan las fuerzas de fricción que disminuyen la velocidad del flujo.

2.6 Radio hidráulico

El radio hidráulico representa la relación entre el área hidráulica y el perímetro

mojado.

$$R = \frac{A}{P}$$

Cuanto mayor sea el radio hidráulico, menor será la resistencia ofrecida por el canal al movimiento del agua.

2.7 Pendiente hidráulica

La pendiente hidráulica representa la pérdida de altura por unidad de longitud.

$$S = \frac{\Delta h}{L}$$

En canales de irrigación suele aproximarse a la pendiente del fondo del canal cuando el flujo es uniforme.

2.8 Ecuación de Manning

La ecuación de Manning constituye la expresión más utilizada para determinar la velocidad media del flujo en canales abiertos

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V = velocidad (m/s)

n = coeficiente de Manning

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente.

Para canales revestidos de concreto normalmente el coeficiente de rugosidad varía entre 0,011 y 0,015 (Chow, 1959).

2.9 Método del flotador

El método del flotador permite estimar experimentalmente la velocidad del agua.

La velocidad superficial se obtiene mediante:

$$V_s = \frac{L}{t}$$

Posteriormente se corrige para obtener la velocidad media:

$$V = 0.85V_s$$

El factor 0,85 representa la diferencia existente entre la velocidad superficial y la velocidad media de la corriente (FAO, 1992).

2.10 Caudal

El caudal corresponde al volumen de agua que atraviesa una sección del canal por unidad de tiempo.

$$Q = AV$$

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

A = área hidráulica (m^2)

V = velocidad media (m/s)

2.11 Ecuación de Chezy

La ecuación de Chezy constituye otra expresión ampliamente utilizada para estimar la velocidad del flujo.

$$V = C\sqrt{RS}$$

Donde:

C = coeficiente de Chezy.

Cuando se conoce el coeficiente de Manning,

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

2.12 Número de Froude

El número de Froude permite identificar el régimen del flujo.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Siendo:

$$D = \frac{A}{T}$$

Cuando:

Fr < 1 → flujo subcrítico.

Fr = 1 → flujo crítico.

Fr > 1 → flujo supercrítico.

En canales de irrigación se procura trabajar en régimen subcrítico porque ofrece mayor estabilidad hidráulica (Chow, 1959).

2.13 Pérdida de carga

La pérdida de energía a lo largo del canal puede estimarse mediante:

$$h_f = SL$$

Donde:

hf = pérdida de carga (m)

S = pendiente

L = longitud del tramo.

Para el tramo evaluado,

3. Metodología

3.1 Lugar de estudio

La práctica de campo se realizó en el canal de irrigación Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza, perteneciente al Sistema de Irrigación Cumbaza, ubicado en el distrito de Morales, provincia y departamento de San Martín. Este canal deriva agua del Canal Principal Cumbaza, cuya captación se encuentra en el sector Polvoraico (Nueva Esperanza), sobre el río Cumbaza (ANA, 2010). Las coordenadas donde se realizaron las mediciones son 0346782 (E) y 9277783 (N) y una altitud de 258 m.s.n.m.

3.2 Materiales y equipos

Durante el trabajo de campo se emplearon los siguientes materiales:

Wincha metálica de 30 m.

Nivel de mano.

Cronómetro digital.

Flotador (botella plástica parcialmente llena).

Libreta de campo.

Calculadora científica.

Cámara fotográfica.

3.3 Tratamiento de los datos

Los resultados obtenidos mediante el método experimental (flotador) fueron comparados con los calculados mediante la ecuación de Manning.

Posteriormente se verificó si la velocidad del flujo se encontraba dentro del intervalo recomendado para canales revestidos de concreto (0,60–3,00 m/s), así como el régimen hidráulico mediante el número de Froude. Finalmente, el caudal calculado se analizó en función de la capacidad del Sistema de Irrigación Cumbaza, el cual abastece aproximadamente 4500 ha de cultivos de arroz (ANA, 2010).

4. Resultados

4.1 Dimensiones medidas en campo

Las dimensiones de la sección transversal del canal de irrigación Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del canal

Parámetro	**Símbolo**	**Valor**
Solera	b	1.50 m
Tirante	y	0.80 m
Talud	z	1.10 /1
Borde libre	BL	0.40 m
Corona	C	0.30 m
Ancho superior	T	3.26 m
Base mayor	B	4.14 m
Espesor del revestimiento	e	0.15 m

Pendiente	S	0.00043

4.2 Verificación del ancho superior

Se utilizó la ecuación

$$T = b + 2zy$$

$$T = 1.50 + 2(1.10)(0.80)$$

$$T = 1.50 + 1.76$$

$$\boxed{T = 3.26\ m}$$

4.3 Verificación de la base mayor

La base mayor se obtiene mediante

$$B = T + 2C$$

$$B = 3.26 + 2(0.30)$$

$$B = 3.26 + 0.60$$

$$\boxed{B = 3.86\ m}$$

4.4 Área hidráulica

La ecuación utilizada fue

$$A = y(b + zy)$$

$$A = 0.80(1.50 + 1.10(0.80))$$

$$A = 0.80(1.50 + 0.88)$$

$$A = 0.80(2.38)$$

$$\boxed{A = 1.904\ m^2}$$

4.5 Perímetro mojado

Se empleó

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$P = 1.50 + 2(0.80)\sqrt{1 + 1.10^2}$$

$$P = 1.50 + 1.60\sqrt{2.21}$$

$$P = 1.50 + 1.60(1.4866)$$

$$P = 1.50 + 2.379$$

$$\boxed{P = 3.879\ m}$$

4.6 Radio hidráulico

Se utilizó la ecuación

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{1.904}{3.879}$$

$$\boxed{R = 0.491\ m}$$

4.7 Pendiente

$$L = 23\ m$$

$$\Delta h = 0.01\ m$$

$$S = \frac{0.01}{23}$$

$$\boxed{S = 0.00043}$$

4.8 Pérdida de carga

$$h_f = SL$$

$$h_f = 0.00043(23)$$

$$\boxed{h_f = 0.0099\ m}$$

$$\boxed{h_f \approx 1\ cm}$$

4.9 Velocidad mediante el método del flotador

Los tiempos registrados fueron

90 s

93 s

94 s

96 s

95 s

Tiempo promedio

$$t = \frac{90 + 93 + 94 + 96 + 95}{5}$$

$$t = \frac{468}{5}$$

$$\boxed{t = 93.6\ s}$$

Velocidad superficial

$$V_s = \frac{23}{93.6}$$

$$\boxed{V_s = 0.246\ m/s}$$

Velocidad media

$$V = 0.85 V_s$$

$$V = 0.85(0.246)$$

$$\boxed{V = 0.209\ m/s}$$

4.10 Caudal mediante el método del flotador

$$Q = AV$$

$$Q = 1.904(0.209)$$

$$\boxed{Q = 0.398\ m^3/s}$$

4.11 Velocidad mediante Manning

La ecuación utilizada fue

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$n = 0.012$$

$$R = 0.491$$

$$S = 0.00043$$

$$V = \frac{1}{0.012}(0.491)^{2/3}(0.00043)^{1/2}$$

$$V = 83.33(0.622)(0.02074)$$

$$\boxed{V = 1.07\ m/s}$$

4.12 Caudal mediante Manning

$$Q = AV$$

$$Q = 1.904(1.07)$$

$$\boxed{Q = 2.04\ m^3/s}$$

4.13 Coeficiente de Chezy

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

$$C = \frac{1}{0.012}(0.491)^{1/6}$$

$$\boxed{C = 74.0}$$

4.14 Velocidad mediante Chezy

$$V = C\sqrt{RS}$$

$$V = 74.0\sqrt{0.491(0.00043)}$$

$$\boxed{V = 1.08\ m/s}$$

4.15 Número de Froude

$$D = \frac{A}{T}$$

$$D = \frac{1.904}{3.26}$$

$$\boxed{D = 0.584\ m}$$

$$Fr = \frac{1.07}{\sqrt{9.81(0.584)}}$$

$$Fr = \frac{1.07}{2.394}$$

$$\boxed{Fr = 0.45}$$

$$Fr < 1$$

Por lo tanto, el flujo es subcrítico

Análisis: Los cálculos muestran una diferencia considerable entre la velocidad obtenida por el método del flotador (0,209 m/s) y la obtenida mediante Manning (1,07 m/s). Esa diferencia merece un análisis crítico en la discusión, ya que en canales revestidos de concreto ambas velocidades normalmente no difieren tanto. Es posible que durante la práctica el flotador haya sido afectado por zonas de baja velocidad superficial, remansos, vegetación, rozamiento con las paredes o un tramo de medición no completamente uniforme.

Además, conviene revisar el factor de corrección de 0,85 y la longitud efectiva del tramo medido, ya que una velocidad superficial de 0,246 m/s resulta baja para un canal revestido con esa geometría y pendiente.

5. Discusión

La evaluación hidráulica del canal de irrigación Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza permitió determinar las principales características geométricas e hidráulicas de una sección trapezoidal revestida de concreto. El área hidráulica calculada fue de 1,904 m², con un perímetro mojado de 3,879 m y un radio hidráulico de 0,491 m. Estos parámetros representan la capacidad de la sección para transportar agua y constituyen las variables fundamentales empleadas en las ecuaciones de Manning y Chezy para estimar la velocidad media del flujo (Chow, 1959). La relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado evidencia una sección eficiente desde el punto de vista hidráulico, ya que un radio hidráulico relativamente alto disminuye las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción con las paredes del canal.

La velocidad obtenida mediante la ecuación de Manning fue de 1,07 m/s, mientras que la velocidad calculada mediante la ecuación de Chezy fue de 1,08 m/s, observándose una diferencia menor al 1 %. Este resultado era esperado debido a que ambas ecuaciones describen el mismo fenómeno hidráulico y la ecuación de Chezy puede obtenerse a partir de la relación entre el coeficiente de Chezy y el coeficiente de rugosidad de Manning. Según Chow (1959), cuando el coeficiente de rugosidad representa adecuadamente las condiciones del canal, ambas ecuaciones producen resultados prácticamente equivalentes, lo que confirma la consistencia de los cálculos desarrollados en el presente estudio.

En contraste, la velocidad obtenida mediante el método del flotador fue de 0,209 m/s, valor considerablemente inferior al obtenido mediante la ecuación de Manning. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores asociados al trabajo de campo. El método del flotador estima inicialmente la velocidad superficial del agua, la cual posteriormente se corrige mediante un coeficiente empírico para aproximarse a la velocidad media. Sin embargo, la presencia de remansos, pequeñas irregularidades del revestimiento, vegetación en los bordes, turbulencias locales o un tramo de medición insuficientemente uniforme pueden ocasionar que el flotador no represente fielmente la velocidad media de la corriente. Además, errores en el cronometraje o en la determinación exacta de la distancia recorrida incrementan la incertidumbre experimental. Por ello, diversos autores recomiendan utilizar el método del flotador únicamente como una estimación preliminar del caudal, reservando las ecuaciones hidráulicas o equipos como molinetes y correntómetros para evaluaciones de mayor precisión (FAO, 1992).

Los criterios de diseño hidráulico para canales revestidos de concreto indican que la velocidad del flujo debe mantenerse aproximadamente entre 0,60 y 3,00 m/s, con el propósito de evitar la sedimentación cuando la velocidad es demasiado baja y prevenir procesos de erosión o cavitación cuando la velocidad es excesivamente alta (FAO, 1992; USBR, 1978). Bajo este criterio, la velocidad obtenida mediante la ecuación de Manning (1,07 m/s) se encuentra dentro del intervalo recomendado, indicando que la sección evaluada posee una capacidad adecuada para conducir el agua sin riesgos significativos de deposición de sedimentos o deterioro del revestimiento. En cambio, la velocidad determinada mediante el método del flotador

(0,209 m/s) se ubica por debajo del límite inferior recomendado, lo que favorecería la acumulación de sedimentos si ese valor representara realmente la velocidad media del flujo. Considerando que el canal se encuentra revestido de concreto y presenta una pendiente de 0,00043, resulta más probable que la velocidad calculada mediante Manning represente con mayor fidelidad el comportamiento hidráulico del canal.

El análisis del régimen hidráulico mediante el número de Froude permitió obtener un valor de 0,45, indicando que el flujo es subcrítico. En este tipo de régimen predominan las fuerzas gravitacionales sobre las fuerzas de inercia, produciendo una superficie libre relativamente estable y favoreciendo el control hidráulico aguas abajo (Chow, 1959). Los manuales de diseño del United States Bureau of Reclamation (1978) recomiendan que los canales de irrigación operen preferentemente bajo estas condiciones, ya que disminuyen la probabilidad de formación de ondas hidráulicas, resaltos y fenómenos de inestabilidad que podrían afectar la distribución del agua. Aunque algunos autores señalan que un número de Froude próximo a la unidad representa el estado crítico del flujo, los canales de riego normalmente no se diseñan para operar cerca de $Fr = 1$, sino con $Fr < 1$, precisamente para mantener un flujo estable y fácilmente controlable. Por ello, el valor obtenido en este estudio puede considerarse hidráulicamente adecuado.

Respecto al caudal, mediante la ecuación de Manning se obtuvo un valor aproximado de 2,04 m^3/s, mientras que mediante el método del flotador se estimó 0,398 m^3/s. La diferencia entre ambos resultados confirma la influencia del método empleado para estimar la velocidad. El Sistema de Irrigación Cumbaza fue

proyectado para atender aproximadamente 4500 ha de cultivos agrícolas, principalmente arroz (ANA, 2010). Si se considera una dotación continua típica para arroz entre 1,0 y 1,5 L/s·ha, la demanda total del sistema estaría comprendida aproximadamente entre 4,5 y 6,75 m^3/s durante los periodos de máxima necesidad hídrica. En consecuencia, el caudal calculado para el tramo evaluado (2,04 m^3/s) no debe interpretarse como insuficiente para abastecer las 4500 ha, ya que corresponde únicamente a una sección específica de un canal lateral y no al caudal total derivado por el Canal Principal Cumbaza. Además, el sistema distribuye progresivamente el agua hacia diversos canales secundarios y terciarios, por lo que el caudal disminuye a medida que se realizan derivaciones para atender las diferentes áreas de riego. Por ello, la comparación con la demanda total del sistema debe realizarse con cautela y únicamente como referencia hidráulica.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que las dimensiones geométricas del canal y la velocidad calculada mediante la ecuación de Manning son coherentes con los criterios de diseño establecidos para canales trapezoidales revestidos de concreto. La principal discrepancia observada corresponde a la velocidad obtenida mediante el método del flotador, situación que pone de manifiesto la importancia de complementar las mediciones experimentales con métodos analíticos y de verificar cuidadosamente las condiciones del tramo de ensayo durante el trabajo de campo. Asimismo, el análisis confirma que la aplicación conjunta de las ecuaciones de Manning, Chezy y Froude constituye una herramienta adecuada para evaluar el comportamiento hidráulico de canales de irrigación y apoyar la gestión eficiente del recurso hídrico en sistemas agrícolas.

6. Conclusiones

- Las mediciones de campo permitieron caracterizar geométrica e hidráulicamente la sección trapezoidal del canal de irrigación Santa Rosa, San Martín y San Juan de Cumbaza. La sección presentó una solera de 1,50 m, un tirante de 0,80 m, un talud de 1.1H:1V, un ancho superior de 3,26 m y un área hidráulica de 1,904 m^2, valores que corresponden a un canal revestido de concreto diseñado para la conducción de caudales relativamente elevados.
- El radio hidráulico calculado fue de 0,491 m, mientras que el perímetro mojado alcanzó 3,879 m, indicando una geometría hidráulicamente eficiente para la conducción del flujo. Estos parámetros constituyen la base para la aplicación de las ecuaciones de Manning y Chezy y evidencian una sección con una adecuada relación entre el área hidráulica y la superficie de contacto con el agua.
- La velocidad media obtenida mediante la ecuación de Manning fue de 1,08 m/s, mientras que mediante el método del flotador se obtuvo 0,209 m/s. La diferencia entre ambos resultados probablemente se debe a las limitaciones propias del método del flotador, el cual es sensible a errores de cronometraje, a la influencia de la velocidad superficial y a las condiciones locales del flujo. Debido a ello, la velocidad calculada mediante Manning representa una estimación más consistente para un canal revestido con las características evaluadas.
- El caudal calculado mediante la ecuación de Manning fue de 2,06 m^3/s, mientras que mediante el método del flotador fue de 0,398 m^3/s. La diferencia confirma

la importancia de complementar las mediciones experimentales con métodos analíticos para obtener estimaciones más confiables del comportamiento hidráulico del canal.

- La velocidad obtenida mediante la ecuación de Manning (1,08 m/s) se encuentra dentro del intervalo recomendado para canales revestidos de concreto (0,60–3,00 m/s) establecido por la FAO (1992) y el USBR (1978), indicando que el canal puede transportar el agua sin riesgo significativo de sedimentación ni de erosión del revestimiento.
- El número de Froude fue 0,45, indicando que el flujo es subcrítico, condición considerada adecuada para canales de irrigación debido a que proporciona mayor estabilidad hidráulica, facilita el control del flujo y reduce la probabilidad de formación de ondas o resaltos hidráulicos.
- El caudal obtenido representa únicamente la capacidad hidráulica del tramo evaluado del canal Santa Rosa–San Martín–San Juan de Cumbaza. En consecuencia, no puede afirmarse que abastezca por sí solo las 4500 ha de arroz del Sistema de Irrigación Cumbaza, ya que dicha superficie es atendida por el Canal Principal Cumbaza y por una red de canales secundarios y terciarios. Para verificar la suficiencia del suministro sería necesario comparar el caudal disponible con la demanda hídrica específica del área servida por este canal lateral.

7. Recomendaciones

- Realizar las mediciones de velocidad utilizando un molinete hidrométrico o un

correntómetro electromagnético, con el fin de obtener resultados de mayor precisión que los obtenidos mediante el método del flotador.

- Repetir las mediciones durante diferentes épocas del año (estiaje y avenida), ya que el caudal y la velocidad del flujo varían en función de la disponibilidad hídrica del río Cumbaza.
- Evaluar periódicamente el estado del revestimiento del canal para identificar fisuras, desprendimientos o pérdidas por infiltración que puedan disminuir la eficiencia hidráulica.
- Complementar el análisis hidráulico con un estudio de la demanda de agua de los usuarios del canal, a fin de determinar si el caudal disponible satisface los requerimientos de riego durante las campañas agrícolas.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya limpieza de sedimentos, retiro de vegetación y reparación del revestimiento para conservar la capacidad hidráulica del canal.

8. Referencias

Autoridad Nacional del Agua. (2010). Proyecto de rehabilitación y mejoramiento del Canal Principal Cumbaza: Estudio a nivel de perfil. Ministerio de Agricultura del Perú. https://hdl.handle.net/20.500.12543/2492

Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill.

Food and Agriculture Organization. (1992). Irrigation and Drainage Paper No. 45: Guidelines for Designing Irrigation Canals. FAO.

Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland, 20, 161–207.

United States Bureau of Reclamation. (1978). Design of Small Canal Structures. U.S. Government Printing Office.

9. Anexos

Anexo 1. Canal trapezoidal del sector Santa Rosa de Cumbaza